

Attachment to  
Page No. 4  
09/858,267

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-179132

(43)Date of publication of application : 06.07.1999

(51)Int.Cl. B01D 53/04

(21)Application number : 10-242190

(71)Applicant : L'AIR LIQUIDE

(22)Date of filing : 27.08.1998

(72)Inventor : MONTFORT CHRISTOPHE  
ROUGE DOMINIQUE  
MOREAU SERGE

(30)Priority

Priority number : 97 9710745 Priority date : 28.08.1997 Priority country : FR

(54) PRESSURE SWING ADSORPTION METHOD FOR GAS FLOW SEPARATION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent negative effect on energy consumption by adjusting the thickness of the adsorbent bed depending on the average particle size of the adsorbent particle to be used, especially practically only on the diameter in the case the adsorbent has a ball-like shape and considering the shape restriction of dead volume.

SOLUTION: This method is for separating gas flow practically containing oxygen and nitrogen based on prior adsorption of nitrogen in at least one bed having a thickness  $e$  of the adsorptive substance adjusted depending on the average particle size  $d$  in at least one separation zone. In this case, the thickness  $e$  of the bed of the adsorptive substance is so set as to satisfy the formula of  $300 \leq e/d \leq 1,000$  (where  $e$  and  $d$  are in mm).

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

can be used  
as the primary  
ref.  
102(b)

p.6, first last table  
1.0 mm

FIGS 2-4 -  $d = 1.0 \text{ mm}$   
(solid line)

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-179132

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月6日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>  
B 0 1 D 53/04

識別記号

F I  
B 0 1 D 53/04

B

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-242190

(22) 出願日 平成10年(1998) 8月27日

(31) 優先権主張番号 9 7 1 0 7 4 5

(32) 優先日 1997年 8月28日

(33) 優先権主張国 フランス (F R)

(71) 出願人 591036572

レール・リキード・ソシエテ・アノニム・  
プール・レテュード・エ・レクスプロワタ  
シオン・デ・プロセデ・ジョルジュ・クロ  
ード

フランス国、75321 バリ・セデクス 07、  
カイ・ドルセイ 75

(72) 発明者 クリストフ・モンフォール

フランス国、78530 ビュック、リュ・ル  
イ・ブレリヨ 412

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外 4 名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガス流の分離のための圧カスウィング吸着法

(57) 【要約】

【課題】 吸着剤床の厚さが、使用する吸着剤粒子の平均粒度に、特に吸着剤がボールの形態にある時は直径にのみ実質的に依存し、デッドボリュームの形状的拘束を考慮したものであり、P S A法のエネルギー消費に負の影響を持たないところのP S A法を提供する

【解決手段】 少なくとも1つの分離ゾーン内において平均粒度 (d) を有する吸着物質の厚さ (e) の少なくとも1つの床における窒素の優先的吸着により本質的に酸素および窒素を含有するガス流を分離するためのP S A法であって、吸着物質の床の厚さ (e) が、 $300 \leq e / d^{1/2} \leq 1000$  (ただし、eおよびdは、mmによる表示である) であるように設定されていることを特徴とするP S A法。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも1つの分離ゾーン内において平均粒度(d)を有する吸着物質の厚さ(e)の少なくとも1つの床における窒素の優先的吸着により本質的に酸素および窒素を含有するガス流を分離するためのPSA法であって、吸着物質の床の厚さ(e)が、 $300 \leq e/d^{1/2} \leq 1000$

(ただし、eおよびdは、mmによる表示である)であるように設定されていることを特徴とするPSA法。

【請求項2】 比( $e/d^{1/2}$ )が、400ないし800の範囲内にあることを特徴とする請求項1記載のPSA法。

【請求項3】 サイクル時間が、120秒未満、好ましくは100秒未満であることを特徴とする請求項1または2記載のPSA法。

【請求項4】 eが、0.1mないし2m、好ましくは0.2mないし1.5mの範囲内にあることを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項記載のPSA法。

【請求項5】 dが、0.1mmないし5mm、好ましくは0.2mmないし3mmの範囲内にあることを特徴とするPSA法。

【請求項6】 吸着物質の形状が、実質的に球形、卵形、楕円形、ロッド状などであることを特徴とする請求項1ないし5のいずれか1項記載のPSA法。

【請求項7】 分離すべきガス流が、空気であることを特徴とする請求項1ないし6のいずれか1項記載のPSA法。

【請求項8】 少なくとも1つの分離領域をさらに含むことを特徴とする請求項1ないし7のいずれか1項記載のPSA法を実施するための装置。

【請求項9】 1ないし3の分離領域を有することを特徴とする請求項8記載の装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ゼオライトのような吸着物質による窒素の優先的吸着により空気のような本質的に酸素および窒素を含有するガス流を分離して、酸素、または酸素が富化された、すなわち窒素が乏化されたガス流を生産するためのPSAタイプの方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】酸素は、種々の技術分野、例えば鋼、ガラスもしくは紙の生産、医薬、金属溶接、燃焼もしくは汚染制御に多くの用途を有するので非常に工業的関心の高いガスである。

【0003】現在酸素を生産するために使用されている技術の1つは、「PSA」(圧カスウィング吸着)技術である。なお、本発明において、PSA法は、PSA法それ自体のみならず、VSA(真空スウィング吸着)もしくはMPSA(混合圧カスウィング吸着)法のような

類似の方法をも意味する。

【0004】このPSA技術によれば、空気のような本質的に酸素と窒素を含有するガス混合物に含まれている酸素は、窒素を優先的に吸着する物質上での窒素の吸着により当該混合物から分離され、当該窒素の吸着は、吸着物質を含有する分離領域に適用された圧力変動により行われ、吸着されないかほとんど吸着されない酸素は、分離領域(ゾーン)の出口で回収される。

【0005】このようなPSA法は、先行技術において多数記載されている。一般的には、PSA法は、常に、「高圧」と呼ばれる吸着圧における吸着物質(吸着剤)上での窒素に対する選択的な吸着工程、「低圧」と呼ばれる、吸着圧よりも低い脱着圧における吸着剤により捕捉された窒素の脱着工程、低圧から高圧への移行による吸着剤を含む分離ゾーンの再加圧工程を含み、生産された酸素は、窒素の吸着相中に回収される。

【0006】このことから、ガス混合物の分離の効率は、例えば高圧、低圧、吸着物質の種類、分離すべき成分に対する吸着物質の親和性、分離すべきガス混合物の組成、分離すべき混合物の吸着の温度、吸着剤粒子のサイズと形状、これら粒子の組成、吸着剤床の厚さ、床内に確立された温度勾配等の多くのパラメータに依存することが容易に理解されるであろう。

【0007】しかしながら、現在まで、全体を調節する法則は、見出されていない。これら種々のパラメータを互いに関連付けることが非常に困難であるからである。

【0008】特に、吸着剤床の厚さ、吸着剤の粒度(granulometry)およびデッドボリューム(dead volume)がPSAユニットの性能に、特に圧力降下に関し、無視し得ない影響を及ぼすことが知られてはいるが、デッドボリュームを考慮して吸着剤の粒度に従い床の厚さを選定するための方法は、現在まで決定されていない。

【0009】いいかえると、多くの文献が、粒度の値の範囲、および床の厚さの値の範囲を記述しているが、それらの範囲の間の現実の関数の存在を確立したものはない。

【0010】さらに、いくつかの文献は、粒度とサイクル時間および/または床の厚さとの組み合わせを開示している。

【0011】すなわち、EP-A-0480797は、直径0.4mmないし1.7mmの吸着剤粒子と少なくとも20秒ないし60秒間のサイクル時間を用いたPSA法を教示している。

【0012】さらに、米国特許第4,194,892号は、2.4m以下の吸着剤床厚さ、0.9mm以下の直径の吸着剤粒子、および少なくとも30秒間のサイクル時間を開示し、他方米国特許第4,194,891号は、1m以下の吸着剤床厚さ、0.9mm以下の直径の吸着剤粒子、および少なくとも18秒未満のサイクル時間を開示している。

【0013】さらにまた、米国特許第5,071,449号は、厚さ0.15mないし1mの吸着剤床、直径0.2mmないし1mmの吸着剤粒子、および6秒ないし60秒間のサイクル時間を開示し、ヤングによる文献「吸着プロセスによるガス分離」、267頁(1989年)は、1.8mないし3mの吸着剤床厚さ、1.6mmの直径の吸着剤粒子、および3分ないし4分間のサイクル時間を開示している。

【0014】同じ直径の粒子について、床厚さは互いにかなり異なり、正確な選定を実際に与えず、吸着器内のデッドボリュームにより課される形状の拘束を考慮していないことに気付くであろう。

【0015】さらに、PSAユニットに使用される吸着剤は高価であり、従って、酸素の生産コストを低下させるために、使用する吸着剤の量を、故に吸着剤床の厚さを低減することが必要であり、望ましいことが知られている。

【0016】しかしながら、吸着剤床の厚さのこの低減は、PSAユニットの性能、特に当該PSAユニットのアウトプットおよび生産性を阻害するものであってはならない。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、吸着剤床の厚さが、使用する吸着剤粒子の平均粒度に、特に吸着剤がボールの形態にある時は直径にのみ実質的に依存し、デッドボリュームの形状の拘束を考慮したものであり、PSA法のエネルギー消費に負の影響を持たないところのPSA法を提供することである。

【0018】さらに、本発明の方法は、工業的規模で実施することが容易であり、酸素の生産コストを実質的に減少させ得る。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、少なくとも1つの分離ゾーン内において平均粒度( $d$ )を有する吸着物質の厚さ( $e$ )の少なくとも1つの床における窒素の優先的吸着により本質的に酸素および窒素を含有するガス流を分離するためのPSA法であって、吸着物質の床の厚さ( $e$ )が、 $300 \leq e/d^{1/2} \leq 1000$  (ただし、 $e$ および $d$ は、mmによる表示である)であるように設定されていることを特徴とするPSA法が提供される。

【0020】本発明において、平均粒度は、吸着物質(吸着剤)の粒子の平均水力直径(average hydraulic diameter)である。

【0021】好ましくは、比( $e/d^{1/2}$ )は、400ないし800の範囲内にある。

【0022】本発明の態様によれば、本発明は、以下の特徴：吸着の高圧が、 $10^5$  Paないし $10^6$  Paの範囲内にあること、供給温度( $T_{feed}$ )が、 $10^\circ\text{C}$ ないし $60^\circ\text{C}$ 、好ましくは $25^\circ\text{C}$ ないし $45^\circ\text{C}$ の範囲内にある

こと、分離すべきガス流が、空気であること、吸着物質が、X型もしくはA型のゼオライトから選ばれ、好ましくは、当該ゼオライトは、カルシウム、リチウム、亜鉛、銅、マンガン、マグネシウム、ニッケルまたはアルカリもしくはアルカリ土類金属のカチオンから選ばれたカチオンと結合した少なくとも50%の $\text{Al}_2\text{O}_3$ を含むこと、サイクル時間が、120秒未満、好ましくは100秒未満であること、 $e$ が、0.1mないし2m、好ましくは0.2mないし1.5mの範囲内にあること、 $d$ が、0.1mmないし5mm、好ましくは0.2mmないし3mmの範囲内にあること、吸着物質の形状が、実質的に球形、卵形、楕円形、ロッド状などであることの少なくとも1つを含み得る。

【0023】

【発明の実施の形態】先に述べたように、吸着剤床の平均粒度および厚さは、吸着剤床内に生じる圧力降下に強い影響を及ぼすことが知られている。

【0024】これらの圧力降下を制限するために、従ってPSAユニットの性能を一定に維持するために、吸着剤床の厚さを減少させることが望ましい。

【0025】しかしながら、吸着剤内には、避けることができないデッドボリュームが存在し、このデッドボリュームは、PSA法の性能に負の影響を及ぼす。すなわち、吸着剤床の上流、すなわち供給側に、特に吸着剤を供給するための第1の隔離弁と吸着剤床の開始とを分離する空間、吸着剤床の上流に位置する乾燥用物質の粒子の床、吸着器内の供給ガス(空気)の分配システムを表わす厚さ $a$ の圧縮不可能なデッドボリューム(図1のVM供給)が存在し、吸着剤床の下流、すなわち生産側に、特に吸着剤床の終了時に吸着器の生産のための第1の遮断弁、生産ガス(酸素)回収のシステムを分離するための空間を表わす厚さ $b$ の圧縮不可能なデッドボリューム(図1のVM生産)も存在する。

【0026】このことから、吸着剤床の厚さ $e$ の減少(厚さ $e_1$ から厚さ $e_2$ への減少)は、図1に示すように概略的に表わすことができ、図1から、所定の厚さ $e$ について、デッドボリュームは、吸着剤床の体積 $V_0$ の $(a+b)/e$ に等しい部分を表わすことがわかるであろう。

【0027】いいかえると、厚さ $a$ および $b$ が変化しない(圧縮不可能なデッドボリューム)場合、吸着剤体積に対するデッドボリュームの割合は、吸着剤床の厚さ $e$ の減少が存在するとき、双曲線敵に増加する。

【0028】従って、PSAユニットの良好な性能を獲得し維持するためには、所定の平均粒度の吸着剤の床の厚さの正確な寸法付けが必要となる。

【0029】本発明は、さらに、上記の方法のようなPSA法を実施するための装置であって、さらに少なくとも1つの分離ゾーンを、好ましくは1ないし3個の分離ゾーンもしくは吸着器を有する装置に関する。

## 【0030】

【実施例】以下本発明を実施例および図面を参照して説明するが、本発明はそれらに限定されるものではない。

## 【0031】実施例

本発明によるPSA法の効率を証明するために、シミュレーションによる研究とシミュレーションの各試験の経済的な評価を以下説明する設計に従って実施した。

【0032】以下の結果は、好適なシミュレーションプログラムの助けによりシミュレートした（等温モードで）。シミュレーションに用いたプログラムは、質量保存の原理、エンタルピー保存の原理、運動量保存の原理に依拠するものであり、リニア駆動力のモデルを使用する（D. M. ラスベンによる「吸着の原理および吸着プロセス」（ジョン・ウィリー&サンズ刊、1984年、pp242-243；または吸着剤塊内での固-気移送（transfer）の運動学的評価について、「圧力スウィング吸着」（VCSパブリッシャー刊、1994年、pp58-61）参照）。そのようなシミュレーションモデルは、特に、ラスベン、ファルークおよびネーベルによる圧力スウィング吸着（VCHパブリッシャー刊、1994年、pp172-209）およびS. エルガンによる充填カラムを通る流体流（Chem. Engr. Prog., 48(2), 89 (1952)）に記載されている。式の解は、それ自

$$ES = \frac{(1 - \frac{R}{t} \cdot 0.2096 + 0.0166) \cdot \int_{cycle} KW(\Delta P) \cdot dt}{R \cdot 0.2096 \cdot \int_{cycle} Q(\Delta P) \cdot \frac{P_{asp} \cdot 273 \cdot dt}{1.013 \cdot T_{asp}}} \cdot \frac{1}{0.95 \cdot 0.98}$$

（ここで、Rは、収率（％）であり；tは、生産されたガスの酸素含有率であり； $\Delta P$ は、当該機械、すなわち真空ポンプと空気圧縮機の取込（intake）圧（ $P_{asp}$ ）と出力圧（ $P_{ref}$ ）との圧力差であり、（この計算に適合された圧力差は、空気圧縮機の取込での（ $10^5$  Paでの）1500 Pa、真空ポンプの取込での（ $10^5$  Paでの）2000 Paおよび真空ポンプの出力での（ $10^5$  Paでの）1500 Paである）；Kwは、瞬間シャフト馬力、およびQは、該機械の瞬間流量であり、これらの値は、当該機械の技術的特性により与えられ；モーター出力は、95％であり；伝達出力は、98％であり； $T_{asp}$ は、取込空気の温度、すなわち機械に入る空気の温度である）により与えられる。

【0036】投資指数（ $I_2$ ）は、参照投資指数（ $I_1$ ）から計算され、以下の式：

【数2】

$$I_2 = \sum_{i=1}^{12} (C1, i) \cdot \frac{(Y2, i)^{\alpha i}}{(Y1, i)^{\alpha i}}$$

体に関し、例えばマイクロソフト<sup>TM</sup>社により販売されているインターナショナル・マスマティカル・アンド・スタティスティカル・ライブラリーのプログラムDIVPAGにより、またはアスペンテック<sup>TM</sup>社により販売されているADSIMプログラムにより行うことができる。当業者は、いうまでもなく、数多くの入手し得る市販プログラムの中から好適なシミュレーションプログラムを選択し、先行するデータにプラグ・イン（plug in）することができる。必要なら、類似のプログラムを記述するD. G. ハーツォーグおよびS. シルカーによる論文：吸着、1、133-151（1995）、入力変数に対するPSAプロセス性能の感受性を参照することができる。

【0033】以下のプログラムのすべてにおいて、本質的に酸素と窒素を含有する分離すべきガス混合物は、空気である。

【0034】さらに、本発明のPSA法の経済的性能を、以下のすべての例において、同じ方法、すなわちシミュレーションにより、以下の関係を用いて評価した。

【0035】比エネルギー指数（ES）は、以下の式（20℃、相対湿度70％）：

【数1】

（ここで、

【数3】

12

$$\sum_{i=1}^{12} (C1, i) = I_1$$

は、下記表1に示す異なるコスト単位から計算された参照投資であり、 $Y2, i$ および $Y1, i$ は、表1に示すコストパラメータであり、 $\alpha i$ は、各コスト単位（表1参照）について実現される経済性を考慮した外挿べき（extrapolation power）を表わす）によって与えられる。

【0037】

【表1】

コスト単位	コスト	$\alpha_i$	$Y_i$
弁、弁、吸着器、支持体	C0.1	$\alpha_1$	吸着器の体積
吸着器	C0.2	$\alpha_2$	吸着剤の生産性コスト
弁	C0.3	$\alpha_3$	収率
真空ポンプ	C0.4	$\alpha_4$	真空ポンプ流
PSAの入口空気圧縮機	C0.5	$\alpha_5$	圧縮機流
PSAの出口酸素圧縮機	C0.6	$\alpha_6$	—
調節、制御、自動化	C0.7	$\alpha_7$	—
エンジニアリング	C0.8	$\alpha_8$	—
移送	C0.9	$\alpha_9$	吸着器の体積
設備および始動	C0.10	$\alpha_{10}$	吸着器の体積
一般コスト	C0.11	$\alpha_{11}$	—
その他	C0.12	$\alpha_{12}$	—

【0038】酸素のコスト指標は、以下の式：

【数4】

$$CO_2 = \frac{ES \times Pe + CC \times I}{Pan}$$

(ここで、ESは、比エネルギー指数であり、Iは、投資指数であり、Peは、エネルギー(電気等)の平均コストであり、CCは、設備およびメンテナンスの減価償却を含むコストパラメータであり、Panは、酸素生成物の年間生産である。)により評価される。

【0039】以下の例において、本PSA方法の性能の研究を所定のサイクルについて一定の機械を用いて行った。

【0040】使用したサイクルは、 $3 \times 15$ 秒または $3 \times 30$ 秒(並行して操作される3つの吸着器)の合計続行時間を有し、概略以下のように記述される。

【0041】 $1.1 \times 10^5$  Paのオーダーの高圧における適切にそのように呼ばれる生産相、すなわち窒素の吸着と酸素の回収；低い並流平衡相； $0.3 \times 10^5$  Paのオーダーの低圧へのバージ相、すなわち吸着剤床により捕捉された窒素の脱着と該窒素の排出、溶出相、酸素生成物を伴う再圧縮相、すなわち新たな分離サイクルのための低圧から高圧への移行。

【0042】一定の機械、すなわち、標準条件下、すなわち空気入口温度 $20^\circ\text{C}$  ( $T_{asp}$ ) および吸着器に対する空気の供給温度 $35^\circ\text{C}$  ( $T_{fed}$ ) について、それぞれ $1.1 \times 10^5$  Paおよび $0.3 \times 10^5$  Paの高圧および低圧を提供するように選択された機械(真空ポンプおよび送風機)を用いて、異なるシミュレーションを行

った。 $20^\circ\text{C}$ の入口温度( $T_{asp}$ )は、実際に、欧州のような穏和な領域の平均温度に相当する。

【0043】以下の例で使用した吸着剤は、カルシウムカチオンを伴う約80%の $\text{AlO}_2$ を含むA型ゼオライトである(以下、CaAという)。現在市販されているこのゼオライトは、3つの吸着器中で厚さe(mm)の単一床の形態で使用し、該ゼオライト床は、指摘するデッドボリュームに先行され、後続されている。

【0044】得られた結果は、指数で与えられている。

【0045】例1

この例では、それぞれ供給側( $V_{m供給}$ )および生産側( $V_{m生産}$ )における最小厚さaおよびbが、 $a=240\text{mm}$ 、 $b=120\text{mm}$ で固定され、これは、 $700\text{mm}$ の厚さを有する床についてそれぞれ吸着剤の34体積%および23体積%に相当する。ここで、実際におけるように、その影響が負であるところのこれらボリュームの厚さをできる限り減少させることが求められる。

【0046】さらに、平均粒度 $0.5\text{mm}$ 、 $1\text{mm}$ 、 $1.5\text{mm}$ および $2\text{mm}$ を有する実質的に球形のボールである吸着剤粒子について異なる床厚さを試験した。

【0047】得られた結果を以下の表2( $3 \times 15$ 秒のサイクル時間)ないし表9( $3 \times 30$ 秒のサイクル時間)に示す。生成された酸素のコスト指数は、日当たり100トンの酸素を生産するPSAユニットに対して与えられている。

【0048】

【表2】

ボールの平均直径: $0.5\text{mm}$ サイクル時間: $3 \times 15$ 秒					
床厚さe (mm)	比 $e/d^{1/2}$	生産量 (R)	生産性 (P)	比エネルギー (ES)	100t/dに ついての $\text{O}_2$ コスト
200	283	100	104	108	104
400	566	111	100	100	100
700	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
1000	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
1400	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.

N. D. : 未定されず

【表3】

ボールの平均直径:1mm サイクル時間:3×15秒					
床厚さe (mm)	比 $e/d^{1/2}$	生産量 (R)	生産性 (P)	比エネルギー (ES)	100t/dに ついてのO <sub>2</sub> コスト
200	200	83	100	118	111
400	400	96	103	103	101
700	700	100	100	100	100
1000	1000	97	90	106	106
1400	1400	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.

N. D. :測定されず

【表4】

ボールの平均直径:1.5mm サイクル時間:3×15秒					
床厚さe (mm)	比 $e/d^{1/2}$	生産量 (R)	生産性 (P)	比エネルギー (ES)	100t/dに ついてのO <sub>2</sub> コスト
200	163	100	112	122	115
400	327	117	119	106	104
700	572	124	120	100	100
1000	816	125	115	101	101
1400	1143	117	100	111	110

【表5】

ボールの平均直径:2mm サイクル時間:3×15秒					
床厚さe (mm)	比 $e/d^{1/2}$	生産量 (R)	生産性 (P)	比エネルギー (ES)	100t/dに ついてのO <sub>2</sub> コスト
200	141	100	100	125	116
400	283	117	107	107	104
700	495	126	109	100	100
1000	707	128	107	100	100
1400	990	126	100	104	104

【表6】

ボールの平均直径:0.5mm サイクル時間:3×30秒					
床厚さe (mm)	比 $e/d^{1/2}$	生産量 (R)	生産性 (P)	比エネルギー (ES)	100t/dに ついてのO <sub>2</sub> コスト
200	283	102	147	110	104
400	566	114	144	100	100
700	990	115	129	102	104
1000	1414	100	100	121	120
1400	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.

N. D. :測定されず

【表7】

ボールの平均直径:1mm サイクル時間:3×30秒					
床厚さe (mm)	比 $e/d^{1/2}$	生産量 (R)	生産性 (P)	比エネルギー (ES)	100t/dに ついてのO <sub>2</sub> コスト
200	200	85	102	116	107
400	400	96	103	103	101
700	700	100	100	100	100
1000	1000	101	98	101	102
1400	1400	99	88	105	106

【表8】

ボールの平均直径: 1.5mm サイクル時間: 3×30秒					
床厚さ $e$ (mm)	比 $e/d^{1/2}$	生産性 (R)	生産性 (P)	比エネルギー (ES)	100t/dに ついての $O_2$ コスト
200	163	100	106	118	109
400	327	113	107	105	102
700	572	118	107	101	100
1000	816	120	104	100	100
1400	1143	120	100	101	102

【表9】

ボールの平均直径: 2mm サイクル時間: 3×30秒					
床厚さ $e$ (mm)	比 $e/d^{1/2}$	生産性 (R)	生産性 (P)	比エネルギー (ES)	100t/dに ついての $O_2$ コスト
200	141	100	102	120	110
400	283	113	104	107	103
700	495	118	104	102	100
1000	707	121	103	100	100
1400	980	121	100	100	101

【0049】得られた結果をよりよく理解するために、酸素生成物および比エネルギー（ES）についてのコスト指数が図2ないし図4に示されており、これらは、それぞれ、3×15秒のサイクルについての比（ $e/d^{1/2}$ ）の値の関数としての比エネルギー指数（ES）

（図2）、3×15秒のサイクルについての比（ $e/d^{1/2}$ ）の値の関数としての生成物酸素（ $O_2$ ）に関するコスト指数（図3）、3×30秒のサイクルについての比（ $e/d^{1/2}$ ）の値の関数としての比エネルギー指数（ES）（図4）、3×30秒のサイクルについての比（ $e/d^{1/2}$ ）の値の関数としての生成物酸素（ $O_2$ ）に関するコスト指数（図5）を示す。

【0050】これらの異なる曲線から、300ないし1000、好ましくは400ないし800の範囲内にある比（ $e/d^{1/2}$ ）の値について、酸素生成物のコストと同様、比エネルギーが最小であり、このことは、PSA法のサイクルの続行時間（3×30秒または3×15秒）いかににかかわらないことがすぐさまわかるであろう。

【0051】いいかえると、これらの異なる試験は、驚

くべきことに、サイクル時間が減少したとき、吸着剤の床厚さをも減少させることは絶対に必要でなく、反対に、そのような吸着剤の床の厚さの減少は、ある場合には、使用したPSA法の性能に関し負の結果をもたらすことを示している。

【図面の簡単な説明】

【図1】吸着器内のデッドボリュームを説明するためのブロック図。

【図2】3×15秒のサイクルについての比（ $e/d^{1/2}$ ）の値の関数としての比エネルギー指数を示すグラフ図。

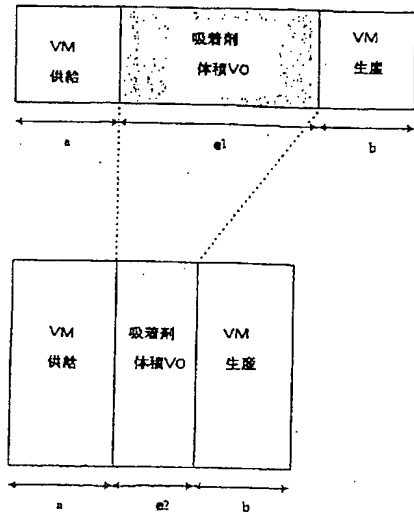
【図3】3×15秒のサイクルについての比（ $e/d^{1/2}$ ）の値の関数としての生成物酸素（ $O_2$ ）に関するコスト指数を示すグラフ図。

【図4】3×30秒のサイクルについての比（ $e/d^{1/2}$ ）の値の関数としての比エネルギー指数を示すグラフ図。

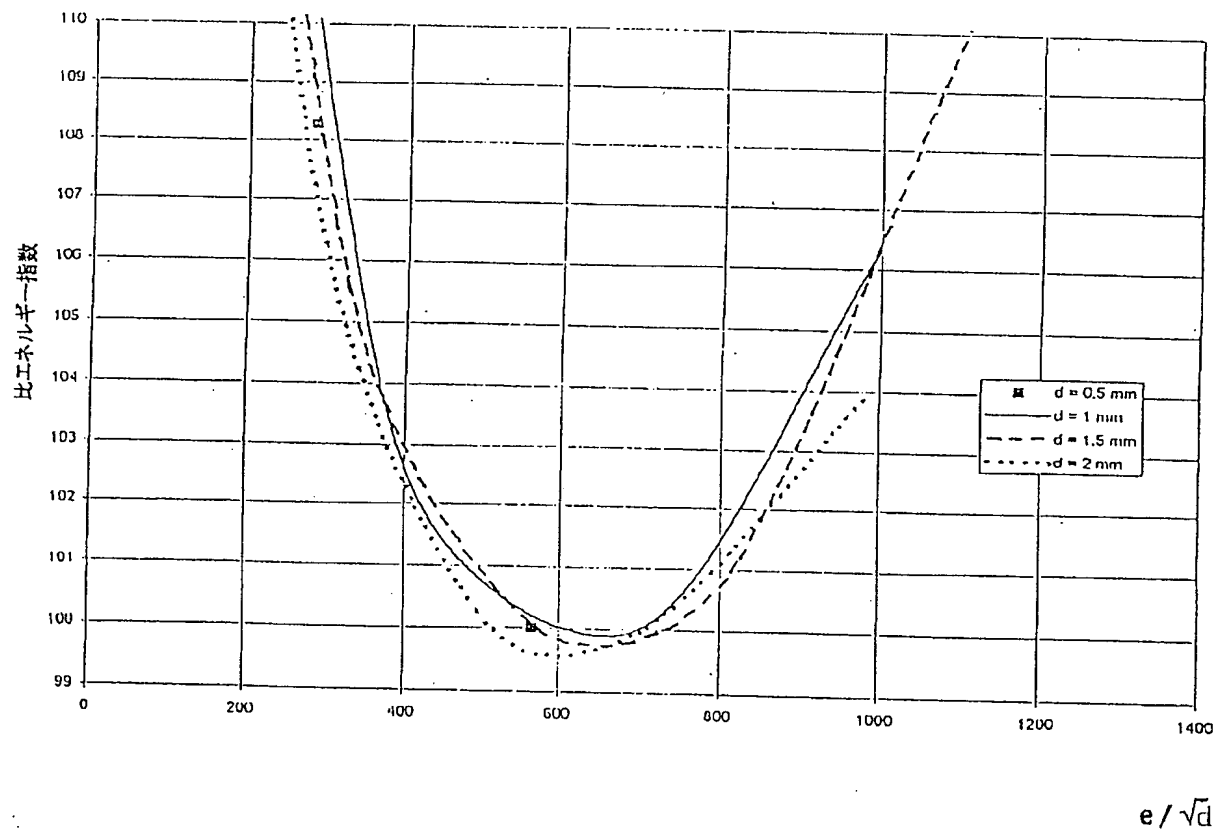
【図5】3×30秒のサイクルについての比（ $e/d^{1/2}$ ）の値の関数としての生成物酸素（ $O_2$ ）に関するコスト指数を示すグラフ図。



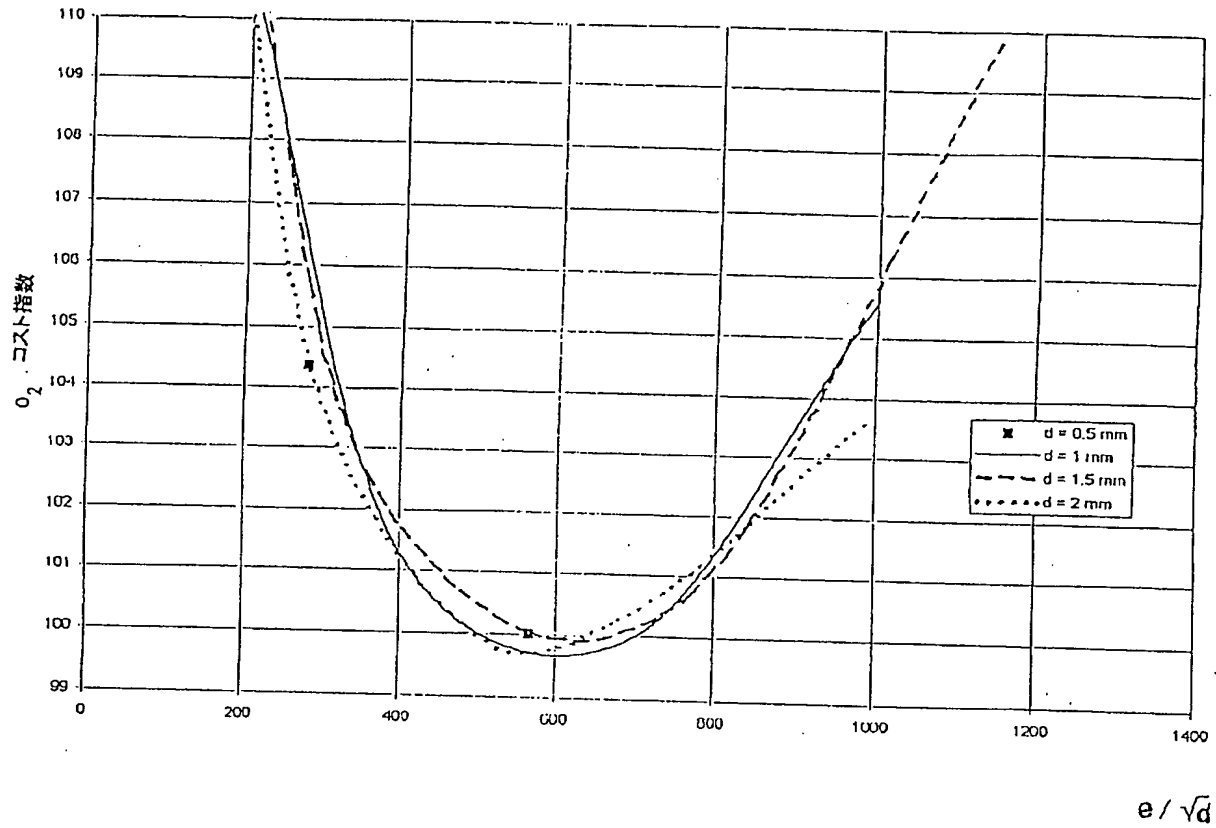
【図1】



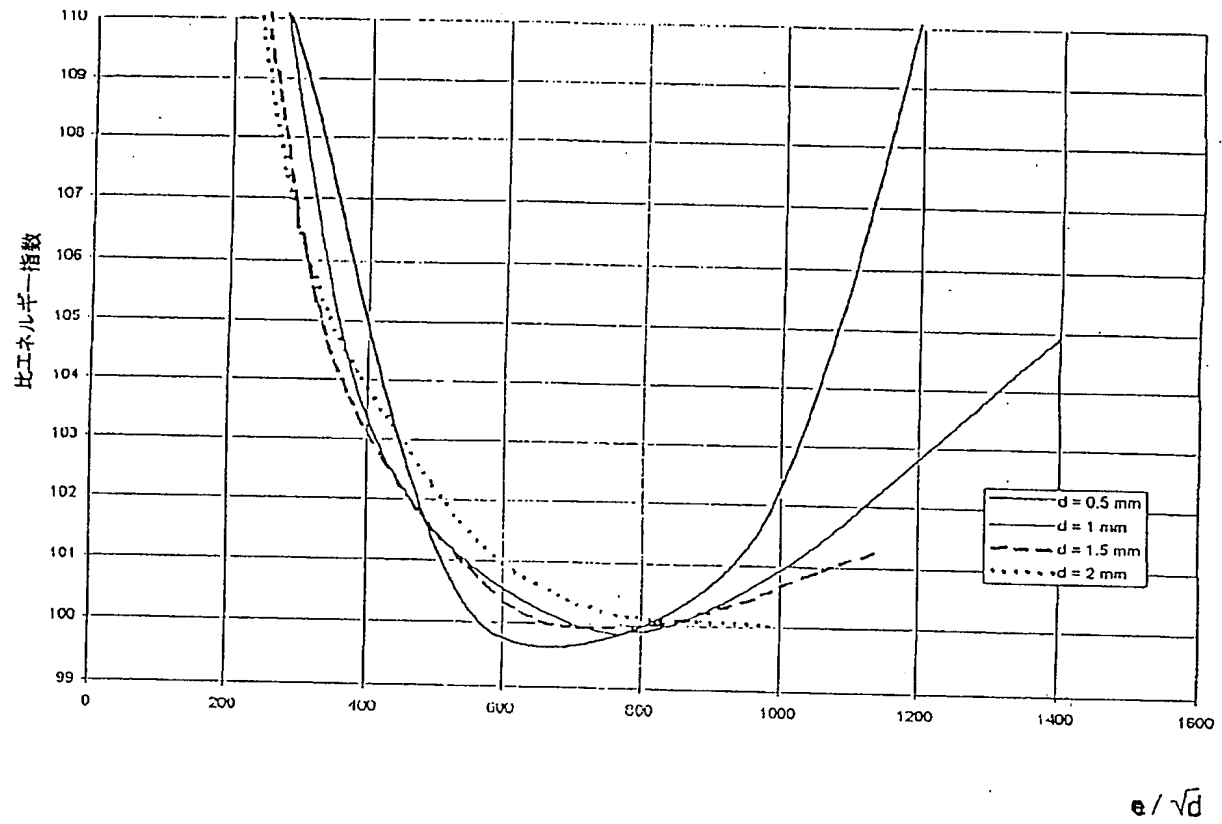
【図2】



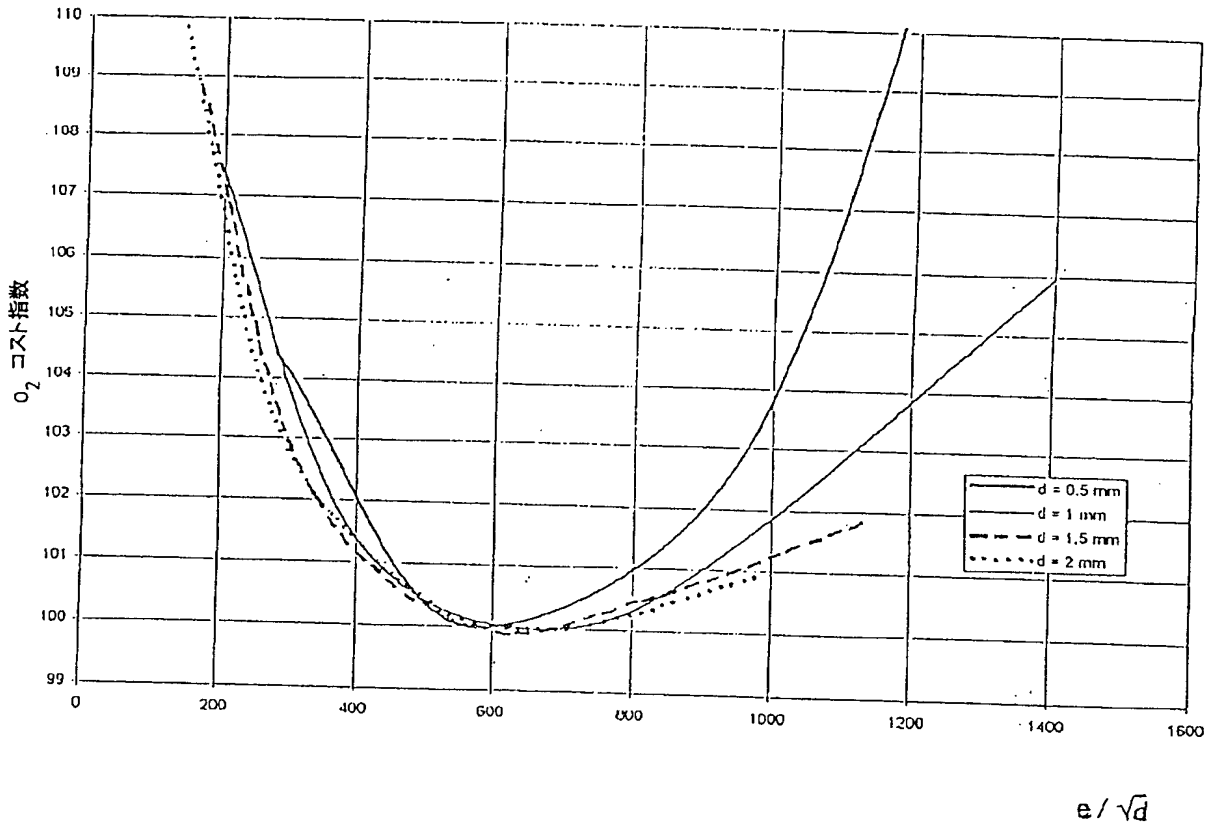
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 ドミニク・ルージュ  
 フランス国、92240 マラコフ、アブニ  
 ュ・ピエール・ブロッソレット 108

(72)発明者 セルジュ・モロー  
 フランス国、78140 ペリジー ビラクー  
 ブレイ、リュ・エグゼルマン 22